Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 3, 2025, p. 473-489

Effects of Water Deficit Stress and Exogenous 24-Epibrassinolide Foliar Application on Morphological Traits, Yield Components, Grain Yield, and Water Use Efficiency in Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto)

Sulmaz Samfar[1], Hojatollah Latifmanesh[1*], Ali Moradi[1], Amin Mirshekari[1], Hamid Alahdadi[1] and Azar Razaghnasab[2]

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
2- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding author's Email: h.latifmanesh@yu.ac.ir)

Received: 23-06-2025 Revised: 11-09-2025 Accepted: 20-09-2025 Available Online: 26-11-2025	**How to cite this article:** Samfar, S., Latifmanesh, H., Moradi, A., Mirshekari, A., Alahdadi, H., & Razaghnasab, A. (2025). Effects of water deficit stress and exogenous 24-epibrassinolide foliar application on morphological traits, yield components, grain yield, and water use efficiency in pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto). *Journal of Agroecology, 17*(3), 473-489. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94147.1244

Introduction

Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) is one of the most important legume crops within the Fabaceae family, cultivated extensively in tropical and subtropical regions. Despite its sensitivity to drought, this species plays a crucial role in food security and sustainable agriculture due to its rich composition of high-quality protein, complex carbohydrates, and essential micronutrients. However, drought stress represents a major abiotic constraint that significantly impairs crop performance by reducing stomatal conductance, decreasing chlorophyll content, disrupting photosynthesis, and limiting root and shoot development. To address this challenge, regulated deficit irrigation has emerged as an efficient strategy for optimizing water use while maintaining acceptable yield levels. Moreover, the application of plant growth regulators such as brassinosteroids, bioactive, eco-friendly, and steroidal compounds, has been recognized as a promising approach to enhancing plant tolerance to abiotic stress. These compounds contribute to stress mitigation by enhancing photosynthetic efficiency, stimulating the biosynthesis of vital metabolites, and activating enzymatic defence systems, thereby supporting plant growth and yield under water-limited conditions. Numerous studies have demonstrated that foliar application of brassinolide, particularly during sensitive developmental stages such as flowering, can substantially alleviate the adverse effects of drought and improve agronomic traits and seed yield. Consequently, the integration of deficit irrigation practices with exogenous brassinosteroid application represents a synergistic and effective approach for improving productivity and sustainability in pinto bean cultivation under arid and semi-arid climatic conditions.

Materials and Methods

To investigate the effects of foliar application of 24-epibrassinolide on morphological and agronomic traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto), a split-plot experiment was conducted in a randomized complete

https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94147.1244

block design (RCBD) with three replications in 2022 at the Research Farm of Yasouj University. In this study, the main factor consisted of three irrigation levels based on Class A pan evaporation data: full irrigation (100% of crop water requirement), moderate drought stress (80%), and severe drought stress (60%). The sub-factor included four levels of 24-epibrassinolide foliar application: control (distilled water), 0.05, 0.1, and 0.2 mg.L^{-1}. The foliar treatments were applied to the aerial parts of the plants during both vegetative and reproductive growth stages. The objective of this research was to evaluate the interactive effects of drought stress and 24-epibrassinolide application on growth indices, yield components, and the adaptive responses of pinto bean under limited water availability.

Results and Discussion

The results demonstrated that severe drought stress (60% of crop water requirement) led to a significant reduction in morphological traits, with leaf area index and plant height decreasing by 47.26% and 19.19%, respectively. In contrast, foliar application of 0.2 mg L^{-1} 24-epibrassinolide significantly improved these traits, resulting in increases of 14.86% and 22.80% compared to the control. Furthermore, yield components including the number of pods per plant, the number of seeds per pod, and hundred-seed weight were markedly reduced under severe drought by 21.42%, 27.56%, and 12.69%, respectively. However, application of the highest 24-epibrassinolide concentration substantially enhanced these parameters, with increases of 105%, 61.56%, and 26.54% relative to the untreated control. The interaction between irrigation and foliar treatment revealed that under severe drought conditions, the application of 0.2 mg L^{-1} 24-epibrassinolide led to notable improvements in seed yield (44.34%), biological yield (39.78%), and harvest index (7.29%) compared to non-treated plants. Moreover, the highest water use efficiency was recorded under severe drought stress combined with this level of 24-epibrassinolide application, indicating the compound’s significant role in optimizing performance under limited water availability. These findings highlight the protective and stimulatory effects of brassinosteroids in enhancing the growth and productivity of pinto bean under drought stress conditions.

Conclusion

Overall, these findings indicate that foliar application of 0.2 mg L^{-1} 24-epibrassinolide can serve as an effective strategy to enhance agronomic traits, seed yield, and water use efficiency of pinto bean under both full irrigation and deficit irrigation conditions. This underscores the critical role of this plant growth regulator in improving drought tolerance and sustaining economic yield under water-limited environments.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the Research and Technology Deputy of Yasouj University for financial support of this experiment.

Keywords: Biological yield, Harvest index, Leaf area index, Plant growth regulator

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، ص ٤٨٩-٤٧٣

بررسی اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲٤-اپی‌براسینولید بر ویژگی‌های مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto)

سولماز سامفر[۱]، حجت‌اله لطیف‌منش[۱*]، علی مرادی[۱]، امین میرشکاری[۱]، حمید الهدادی[۱] و آذر رزاق‌نسب[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) به‌عنوان یکی از حبوبات مهم در تأمین پروتئین گیاهی، در شرایط کم‌آبیاری دچار کاهش عملکرد می‌شود که بررسی راهکارهای هورمونی می‌تواند در کاهش اثرات تنش مؤثر باشد. به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر صفات مورفولوژیک و زراعی لوبیا چیتی، آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج اجرا شد. سه سطح مختلف تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تنش متوسط (۸۰ درصد نیاز آبی) و تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی براساس تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید (شاهد (آب مقطر)، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) به‌عنوان عامل فرعی بودند. آبیاری ۶۰ درصد موجب کاهش ۴۷/۲۶ و ۱۹/۱۹ درصد شاخص سطح برگ و ارتفاع شد. اثر ساده محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید نیز موجب افزایش ۱۴/۸۶ و ۲۲/۸۰ درصدی این صفات نسبت به شاهد شد. تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه متأثر از تنش شدید با کاهش ۲۱/۴۲، ۲۷/۵۶ و ۱۲/۶۹ درصدی همراه شدند. در نقطه مقابل، کاربرد مجزای بالاترین سطح محلول‌پاشی، میزان این صفات را به‌ترتیب ۱۰۵، ۶۱/۵۶ و ۲۶/۵۴ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. در سطح تنش شدید، محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر عامل افزایش ۴۴/۳۴، ۳۹/۷۸ و ۷/۲۹ درصدی عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت شد. به‌طور کلی، در این آزمایش محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید اثرات منفی تنش کم‌آبی را بر ریخت‌شناسی و عملکرد لوبیا چیتی کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده رشد گیاهی، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، عملکرد زیستی

مقدمه

لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) گیاهی یک‌ساله از تیره Fabaceae است که با وجود عدم مقاومت بالا به خشکی، در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری اهمیت راهبردی دارد (Narimanzadeh et al., 2024)؛ از همین رو، در چارچوب کشاورزی اقلیم‌محور و پایدار مورد توجه ویژه قرار گرفته است. از دیدگاه تغذیه‌ای، دانه‌های این گونه حاوی ترکیبات زیستی فعال از جمله پروتئین با کیفیت بالا (حدود ۲۵ درصد)، کربوهیدرات‌های پیچیده و عناصر ریزمغذی هستند که آن را به یک منبع غذایی عملکردگرا و مغذی بدل کرده‌اند (Wondimu & Tana., 2017). به‌دلیل اهمیت بالقوه اکولوژیک و به‌رغم حساسیت نسبی لوبیا به تنش خشکی، نیاز غذایی و جایگاه زراعی، این گیاه موجب گسترش کشت آن در مناطق کم‌بازده شده است.

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده غیرزیستی محسوب می‌شود که با ایجاد اختلال در فرآیندهای ساختاری و عملکردی گیاه، از جمله تغییر در ویژگی‌های ریخت‌شناختی و بیوشیمیایی، به‌طور چشمگیری بازده گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Ansari et al., 2019). این تنش با محدود کردن تبادل گازی از

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h.latifmanesh@yu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94147.1244

طریق کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل و افت کارآیی سامانه فتوسنتزی، موجب اختلال در فرآیند تولید ماده خشک می‌گردد و در نهایت منجر به افت عملکرد نهایی دانه می‌شود (Yeganehpoor et al., 2015). کمبود آب، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک، اغلب در مراحل انتهایی رشد گیاه رخ می‌دهد و با ممانعت از تقسیم و توسعه سلولی، منجر به کاهش رشد طولی ساقه، محدود شدن اندازه برگ، مهار گسترش سامانه ریشه‌ای، تغییر در فعالیت روزنه‌ها و کاهش جذب عناصر غذایی می‌گردد (Kaushal & Wani, 2016). در این زمینه، تأثیر تنش خشکی بر صفات زراعی حبوبات نیز گزارش شده است که سطح برگ، ارتفاع بوته و عمکرد دانه در لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) (Davoudi et al., 2018)، وزن دانه‌ها در لوبیا سفید و لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) (Davoodi et al., 2018) و عملکرد دانه و عملکرد زیستی در لوبیا چیتی (Ghalandari et al., 2019) به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. بااین‌حال، در مواجهه با محدودیت منابع آبی، استفاده از راهبردهای مدیریتی مانند کم‌آبیاری کنترل‌شده به‌عنوان روشی جایگزین برای سازگاری با شرایط تنش آبی مطرح شده است، به‌گونه‌ای که کم‌آبیاری به‌عنوان یکی از راهبردهای مدیریت بهینه منابع آبی، روشی مؤثر در راستای دستیابی به تولید اقتصادی همراه با کاهش مصرف آب تلقی می‌شود. اگرچه این روش ممکن است منجر به کاهش نسبی عملکرد در واحد سطح گردد، ولی صرفه‌جویی چشمگیر در مصرف آب می‌تواند افت عملکرد را از منظر اقتصادی جبران کند (Gholami et al., 2025). از سوی دیگر، جهت ترمیم کاهش عملکردی نیز بهره‌گیری از ترکیبات مکمل نظیر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای بهبود سازگاری گیاه با شرایط کم‌آبی اهمیت یافته است.

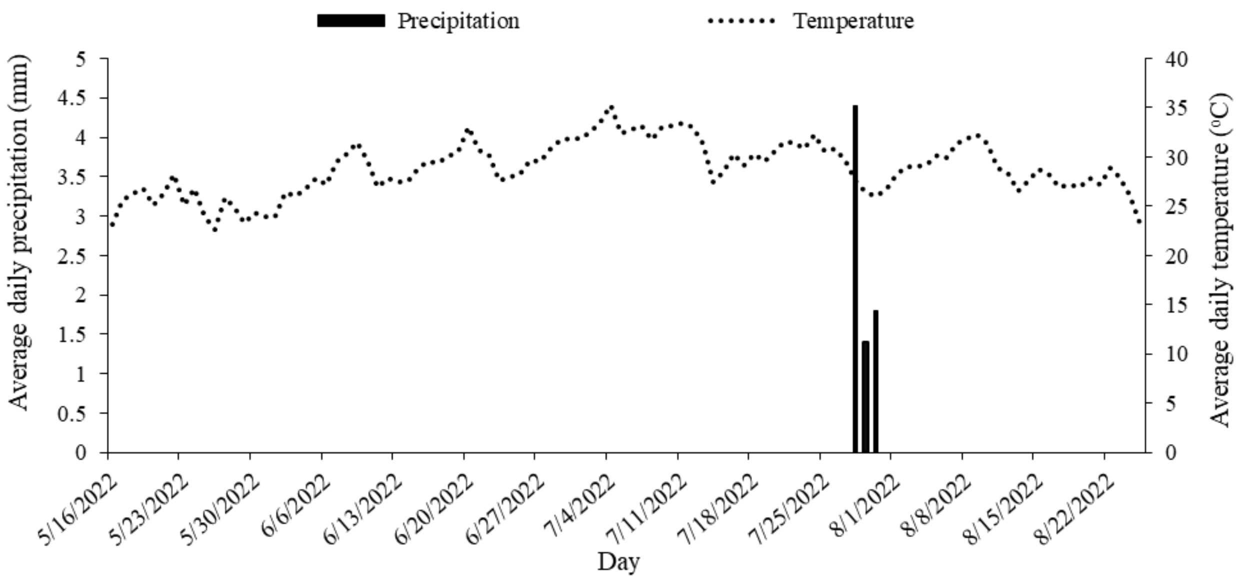
براسینولیدها، به‌عنوان هورمون‌های استروئیدی گیاهی، نقش بسزایی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی از طریق تعدیل مسیرهای متابولیکی ایفا می‌کنند (Nolan et al., 2020). این گروه از هورمون‌ها شامل بیش از ۷۰ ترکیب شناسایی‌شده هستند که از نظر ساختاری مشابه استروئیدها بوده و از بافت‌های مختلف گیاهی نظیر برگ، دانه، میوه، دانه گرده و گال‌ها استخراج می‌شوند (Rady & Mohamed, 2015). براسینولیدها که ترکیباتی غیرسمی و سازگار با محیط‌زیست می‌باشند (Hussain et al., 2020)، با تحریک فرآیندهایی نظیر فتوسنتز، بیوسنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، به بهبود رشد و عملکرد گیاه کمک می‌نمایند (Castañeda-Murillo et al., 2022). مطالعات دیگر نشان داده‌اند که کاربرد خارجی براسینولیدها تحت شرایط کم‌آبیاری موجب ارتقاء سامانه دفاع آنزیمی و غیرآنزیمی می‌شود، در نتیجه نقش حفاظتی در برابر تنش اکسیداتیو دارند (Khan et al., 2021). از همین رو در پی اثرگذاری بر خصوصیات فیزیولوژیک، بهبود صفات عملکردی را نیز به‌دنبال دارند. در این راستا گزارش شده است که اثر محلول‌پاشی اپی‌براسینولید و هموبراسینولید با غلظت‌های یک و پنج میکرومولار، پیش از اعمال تنش خشکی و در مرحله گل‌دهی بر لوبیا نشان داد که کاربرد این ترکیبات موجب کاهش اثرات منفی ناشی از خشکی بر سامانه ریشه‌ای شد. به‌طور خاص، استفاده از پنج میکرومولار براسینواستروئید منجر به بهبود عملکرد غلاف، هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی گردید (Upreti & Murti, 2004). در پژوهشی دیگر نیز اثربخشی براسینولید منجر به حداقل افت عملکرد دانه در گیاه سویا (*Glycine max* L.) تحت تنش خشکی شد (Zhang et al., 2008). صادقی پور و بنکدار هاشمی (Sadeghipour & Banekdar Hashemi, 2015) بهبود صفات شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی را تحت آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر با محلول‌پاشی دو میکرومولار براسینولید گزارش کردند. بر همین اساس، استفاده از براسینواستروئیدها در تولیدات کشاورزی به‌عنوان ابزاری مؤثر در بهبود رشد، افزایش عملکرد و ارتقاء تحمل به تنش، چشم‌انداز امیدبخشی برای بهره‌گیری در کشاورزی پایدار، به‌ویژه در شرایط اقلیمی چالش‌برانگیز مطرح شده است.

با توجه به گسترش فزاینده تنش خشکی در سطح ملی و جهانی و نیز نقش راهبردی لوبیا چیتی در نظام‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، این پژوهش با هدف بررسی اثرات کم‌آبیاری بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکردی این گیاه زراعی انجام گرفت. همچنین در این مطالعه، تأثیر کاربرد خارجی هورمون ۲۴-اپی‌براسینولید به‌عنوان عامل زیست‌تحریک‌کننده بر افزایش تحمل به تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در مزرعه‌ای واقع

در شرق شهر شیراز (با طول جغرافیایی ۵۱°۳۳′ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰°۳۸′ شمالی و ارتفاع ۱۸۷۰ متری از سطح دریا) که میانگین دمای روزانه و بارندگی در طول دوره پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است، انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح آبیاری (شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تنش متوسط (۸۰ درصد نیاز آبی) و تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) براساس تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی و سطوح محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید (شاهد (صفر؛ آب مقطر)، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر) به‌عنوان عامل فرعی بودند. بذر به‌کاررفته در این آزمایش، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pinto) رقم تلاش بود.



شکل ۱- وضعیت دما و بارندگی در طول دوره پژوهش

Fig. 1- Temperature and precipitation rate during the research period

پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین و پیش از کاشت، نمونه‌برداری جهت آنالیز خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری برای تعیین عناصر غذایی ماکرو و میکرو انجام گرفت (جدول ۱). کود سوپرفسفات تریپل (۷۵ کیلوگرم در هکتار) و اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله، هنگام کاشت و آغاز گل‌دهی) براساس نتایج آزمون خاک مورد استفاده قرار گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین در اواخر اردیبهشت ماه و به‌صورت دستی انجام شد. کرت‌ها با ابعاد ۳×۲ متر طراحی شدند؛ به‌گونه‌ای که هر کرت شامل پنج ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود و بوته‌ها به‌فاصله پنج سانتی‌متری (با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع) روی ردیف قرار گرفتند. فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. بذرها با محلول سدیم هیپوکلریت پنج درصد ضدعفونی و سپس در هفته اول خرداد ماه در عمق ۳-۴ سانتی‌متری کشت شدند. آبیاری اولیه بلافاصله پس از کاشت انجام گردید. محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید در دو مرحله رشد رویشی (۲۱ روز پس از کاشت) و رشد زایشی (۴۵ روز پس از کاشت) با غلظت‌های تعیین‌شده (Ghasemi et al., 2021) و با استفاده از سورفکتانت (توویین ۲۰) برای بهبود جذب صورت پذیرفت. مهار علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. اعمال تنش کم‌آبیاری پس از رسیدن گیاهان به مرحله چهار تا شش برگی (۳۰ روز پس از کاشت) آغاز شد.

نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک نظیر ارتفاع بوته، شاخه‌های جانبی و قطر ساقه با انتخاب تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، در اواسط مرحله پرشدن دانه رخ داد. مساحت برگ‌ها نیز به کمک دستگاه Leaf Area Meter مدل Delta T یادداشت شد و با توجه به نسبت سطح برگ به سطح زمین اشغال‌شده، شاخص سطح برگ مشخص گردید. در زمان رسیدگی برداشت (هفته اول شهریور ماه)، دو مترمربع از وسط هر کرت با رعایت حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف و نیز ۵۰

سانتی‌متر از هر دو طرف در نظر گرفته شد. اجـزای عملکـرد (شـامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه) اندازه‌گیری و به‌واسطه آن‌ها عملکـرد دانـه نیـز محاسـبه گردیـد. بـرای ارزیـابی عملکرد زیستی از قسمت‌های مختلف بوته گیاهی، نمونـه‌هایی تهیـه شد که با قرار دادن آن‌ها به‌مدت زمان ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجـه سانتی‌گراد، به کمک دستگاه آون خشک شده و سـپس بـا اسـتفاده از ترازوی دقیق توزین شدند. در انتها، شاخص برداشت از طریق نسـبت عملکرد دانه به عملکرد زیسـتی ثبـت شـد. کـارآیی مصـرف آب نیـز براساس عملکرد دانه به‌میزان آب مصرفی (اندازه‌گیری‌شده بـا کنتـور حجمی) به دست آمد (Timmons et al., 1976).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil where the experiment was carried out

اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	آهن Fe (mg.kg^{-1})	روی Zn (mg.kg^{-1})	کربن آلی Organic C (%)	بافت Texture
7.54	0.14	17.18	310	5.21	0.84	0.70	سیلتی لومی Silty loam

آنالیز آماری داده‌هـا به‌وسـیله نرم‌افـزار SAS 9.4 انجـام گرفـت. مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهـا بـا اسـتفاده از آزمـون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. در صـورت معنـی‌دار بـودن اثرات متقابل، برای مقایسه میانگین‌ها از رویـه L.S.Means اسـتفاده شد.

نتایج و بحث

اطلاعات حاصل از تجزیه واریانس نشـان داد کـه اثـرات اصـلی تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید برای تمامی صـفات مورد ارزیابی (شامل صفات مورفولوژیـک و صـفات عملکـردی نظیـر اجزای عملکرد و عملکرد دانه) در سطح احتمال خطـای یـک درصـد معنـی‌دار شـد (جـدول ۲ و ۴). همچنـین نتـایج بیـانگر معنـی‌داری برهم‌کنش دوگانه تنها برای صفات عملکـرد دانـه، عملکـرد زیسـتی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب در سطح احتمـال خطـای یـک درصد بود (جدول ۴).

شاخص سطح برگ

بر مبنای مقایسه میانگین‌ها با افزایش سطوح کم‌آبیـاری، میـزان شاخص سطح برگ کاهش یافت. اعمال تـنش بـا آبیـاری ۶۰ درصـد به‌میزان ۲۶/۴۷ درصد، محتوای این صـفت را در مقایسـه بـا آبیـاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) کاهش داد (جدول ۳). کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید تحت شرایط تنش کم‌آبی روند مثبتی را نشـان داد، به‌گونه‌ای که اعمال محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش ۱۴/۸۶ درصدی شاخص سطح برگ در مقایسه با تیمـار عـدم کـاربرد براسینولید شد (جدول ۳).

تـنش ناشـی از کم‌آبیـاری بـا ایجـاد اخـتلال در فرآینـدهای فیزیولوژیکی و کاهش تقسیم و گسـترش سـلولی منجـر بـه کـاهش سطح برگ و در نتیجه افت شاخص سطح برگ می‌شود. کاهش ایـن صفت نه‌تنها ظرفیت جذب تابش فعال فتوسنتزی را محدود می‌سـازد، بلکه با القاء تنش اکسیداتیو موجب آسیب به ساختار سلولی و تخریـب سامانه کلروپلاستی می‌شود. در این شرایط، کاربرد براسینواسـتروئیدها به‌واسطه خواص آنتی‌اکسیدانی و توانایی در تعدیل مسـیرهای تنظـیم رشد، نقش مؤثری در حفظ و بهبود شاخص سطح بـرگ ایفـا می‌کنـد (Zahedipour Sheshglani & Asghari, 2020). این ترکیبـات بـا مهار تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تقویت بیوسنتز کلروفیل، پایداری عملکرد فتوسـنتزی را سـبب می‌شـوند (Zhao et al., 2022)، زیـرا براسینولیدها در فرآیند ساختاری رنگیزه‌ها احتمالاً از طریـق تحریـک تولید هورمون‌های رشد نظیر اسید اینـدول اسـتیک (IAA[1]) و بهبـود تغذیه گیاه حضور بسـزایی دارنـد (Pérez-Montaño et al., 2014). بنابراین ممکن است به فعالیت بیشتر بافت‌های مریسـتمی و افـزایش تعداد و اندازه یاخته‌ها منجر شوند که در نهایت، سطح بیشـتر بـرگ را به دنبال دارند.

1- Indole-3-Acetic Acid

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص سطح برگ، ارتفاع، شاخه‌های جانبی و قطر ساقه لوبیا چیتی تحت تأثیر تیمارهای تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of leaf area index, height, lateral branches and stem diameter of pinto bean under the effect of low irrigation stress treatments and foliar application of 24-epibrassinolide

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع Height	شاخه‌های جانبی Lateral branches	قطر ساقه Stem diameter
تکرار Replication (R)	2	0.003^{ns}	4.11^{ns}	0.14^{ns}	0.13^{*}
تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress (L)	2	5.09^{**}	641.88^{**}	16.78^{**}	5.92^{**}
خطای اصلی Main plot error	4	0.005	2.51	0.50	0.10
۲۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide (B)	3	0.64^{**}	431.04^{**}	18.43^{**}	1.54^{**}
L × B	6	0.01^{ns}	18.45^{ns}	0.29^{ns}	0.06^{ns}
خطای فرعی Subplot error	18	0.011	7.68	0.69	0.029
ضریب تغییرات C.V. (%)		2.52	4.15	17.24	2.23

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and **: Non significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر شاخص سطح برگ، ارتفاع، شاخه‌های جانبی و قطر ساقه در لوبیا چیتی

Table 3- Means comparison of the effect of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide on leaf area index, height, lateral branches and stem diameter in pinto bean

تیمار Treatment	سطوح تیمار Treatment levels	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع Height (cm)	شاخه‌های جانبی Lateral branches (number)	قطر ساقه Stem diameter (mm)
تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	4.76	72.32	5.97	8.55
	۸۰ درصد نیاز آبی 80% water requirement	4.41	69.36	4.91	7.42
	۶۰ درصد نیاز آبی 60% water requirement	3.50	58.44	3.61	7.26
LSD (0.05)		0.08	1.80	0.80	0.36
۲۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide ($mg.L^{-1}$)	0	3.97	59.15	3.43	7.31
	0.05	4.05	64.31	4.01	7.56
	0.1	4.32	67.23	5.22	7.81
	0.2	4.56	75.64	6.66	8.28
LSD (0.05)		0.10	2.74	0.82	0.17

ارتفاع بوته

براساس مقایسه میانگین‌های سطوح تنش کم‌آبیاری، کم‌ترین و بیشترین ارتفاع بوته (به‌ترتیب ۵۸/۴۴ و ۷۲/۳۲ سانتی‌متر) از سطوح آبیاری ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد که با یکدیگر اختلاف ۱۹/۱۹ درصدی را نشان دادند (جدول ۳). محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید نیز در سطح ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر با افزایش ۲۲/۸۰ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد (آب مقطر) همراه شد (جدول ۳).

یکی از نخستین نشانه‌های کمبود آب در گیاه، کاهش آماس یاخته‌ای است که در پی آن، فرآیند رشد و توسعه به‌ویژه در بافت‌های فعال مانند برگ و ساقه مختل می‌گردد (Eraji et al., 2023). رشد یاخته‌ها به‌عنوان یکی از حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیکی در برابر

تنش خشکی، به‌طور مستقیم از افت فشار اسمزی درون‌یاخته‌ای تأثیر می‌پذیرد. در این شرایط، اختلال در انتقال آب از آوندهای چوبی به بخش‌های در حال طویل شدن، گسترش یاخته‌ای را با مشکل مواجه کرده و منجر به کاهش اندازه و حجم آن‌ها می‌شود. در نهایت، کاهش تداوم و شدت این فرآیند موجب مختل شدن میتوز و کاهش ارتفاع ساقه خواهد شد (Rahimi et al., 2023). در نقطه مقابل، افزایش ارتفاع بوته در پی کاربرد اپی‌براسینولید احتمالاً ناشی از تحریک رشد طولی در بافت‌های مریستمی از طریق افزایش تقسیم و طویل شدن سلول‌ها است. این تنظیم فیزیولوژیکی موجب توسعه بیشتر بافت‌های جوان و افزایش اندازه اندام‌ها می‌شود. در نتیجه، اپی براسینولید با کاهش اثرات منفی تنش خشکی، به حفظ یا بهبود رشد طولی گیاه و ارتفاع بوته کمک می‌کند (Bera et al., 2014). کاربرد ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید نیز موجب افزایش ارتفاع بوته ذرت (*Zea mays* L.) در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه نسبت به شاهد شده است (Ghassemi et al., 2025).

تعداد شاخه‌های جانبی

اعمال تیمار تنش موجب کاهش ۱۷/۷۵ و ۳۹/۵۳ درصدی تعداد شاخه‌های جانبی در سطوح آبیاری ۸۰ و ۶۰ درصد به نسبت آبیاری ۱۰۰ درصد شد (جدول ۳). علاوه‌بر این مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده بهبود شاخه‌های فرعی با افزایش کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید بود. اعمال ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید موجب افزایش ۹۴/۱۶ درصدی صفت یادشده در مقایسه با عدم محلول‌پاشی شد (جدول ۳).

ایجاد محدودیت در دسترسی به آب مورد نیاز گیاه، با کاهش سنتز و تحرک هورمونی، مانع تحریک جوانه‌زنی و رشد شاخه‌های جانبی می‌شود. علاوه‌بر این، کاهش سطح فتوسنتزی و افت توان منبع گیاه منجر به اولویت‌بندی تخصیص منابع به اندام‌های اصلی مانند ساقه و برگ‌های فعال شده و در نتیجه تشکیل و توسعه شاخه‌های جانبی به‌طور معنی‌داری محدود می‌شود. همسو با این یافته‌ها، در پژوهشی بر لوبیا قرمز (*Phaseolus calcaratus* Roxb.[1]) و لوبیا یام مکزیکی (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) نیز گزارش شد که تیمار رژیم‌های مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر شاخه‌های جانبی داشته است (Hasani et al., 2022). در چنین شرایطی که تنش خشکی رشد شاخه‌های جانبی را مهار می‌کند، تنظیم هورمونی براسینولید به حفظ فعالیت مریستم‌های جانبی، بهبود انتقال آب و مواد فتوسنتزی و تحریک تقسیم سلولی در ناحیه گره‌ها کمک می‌کند. در نتیجه، اپی‌براسینولید با کاهش اثر بازدارنده کم‌آبی بر شاخه‌زایی، موجب افزایش تعداد و رشد شاخه‌های جانبی شده و به توسعه ساختار رویشی و حفظ فتوسنتز در شرایط تنش کمک می‌کند (Pereira-Netto et al., 2006).

قطر ساقه

داده‌های آزمایشی بیانگر کاهش قطر ساقه با افزایش سطوح تنش کم‌آبی بود، به‌طوری که تیمار تنش شدید (۶۰ درصد نیاز آبی) با کاهش ۱۷/۷۶ درصدی قطر ساقه در مقایسه با آبیاری مطلوب همراه شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها مشخص نمود که با افزایش میزان ۲۴-اپی براسینولید تا ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر با کاهش اثرات تنش کم‌آبیاری، قطر ساقه بهبود یافت. بیشترین میزان قطر ساقه (۸/۲۸ میلی‌متر) مربوط به بالاترین سطح کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید بود، به‌گونه‌ای که در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی موجب افزایش ۱۳/۲۶ درصدی این صفت شد (جدول ۳).

کاهش قطر ساقه را می‌توان ناشی از تضعیف فرآیندهای فتوسنتزی در اثر محدودیت آبی و همچنین افزایش نیاز به بسیج ذخایر کربنی ساقه برای تأمین نیازهای رشدی اندام‌های زایشی در شرایط تنش دانست. در طی دوره پر شدن دانه، به‌دلیل افزایش نیاز دانه‌ها به ترکیبات پرورده و همزمان با کاهش عملکرد فتوسنتزی برگ‌ها تحت تأثیر پیری و محدودیت‌های محیطی، گیاه با کاهش نسبت منبع به مخزن مواجه می‌شود. در این شرایط، به‌منظور حفظ روند پر شدن دانه، انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه فعال شده و به‌مرور موجب کاهش بافت‌های ذخیره‌ای و در نهایت کاهش ضخامت ساقه می‌گردد (Mohammadi et al., 2021). از سوی دیگر، در شرایط تنش خشکی که رشد آوندهای چوبی و آبکشی

۱- در ادبیات علمی جدید، نام پذیرفته شده برای این گیاه *Vigna umbellate* (Thunb.) Ohwi & Ohashi (لوبیای برنجی) است و نام *Phaseolus calcaratus* مترادف قدیمی و منسوخ شده آن به‌شمار می‌رود. نام علمی صحیح لوبیای قرمز رایج (Kidney Bean) *Phaseolus vulgars* L. است.

محـدود می‌گـردد، افـزایش معنـی‌دار قطـر سـاقه در تیمارهـای دریافت‌کننده اپی‌براسینولید در مقایسه با شاهد، می‌تواند ناشی از بهبود رانـدمان فتوسـنتزی و در پـی آن افـزایش تولیـد مـاده خشـک و ذخیره‌سازی بیشتر ترکیبات فتوسنتزی در بافت‌های ساقه باشد. اعمال محلول‌پاشـی ۲۴-اپی‌براسـینولید در سوسـن (*Lilium* “Fangio” (LA hybrid, Longiflorum × Asiatic)) (Omidian et al., 2021) و *Genipa Americana* L. (Lima et al., 2025) همانند نتایج حاضر سبب افزایش قطر ساقه شد.

اجزای عملکرد

تعداد غلاف در بوته

نتایج مقایسه میانگین‌ها آشکار نمود که تعداد غلاف در بوته متأثر از سطوح تنش کم‌آبیاری به‌صورت معنـی‌داری کـاهش یافـت. تحـت آبیاری ۶۰ درصد کمترین تعداد غلاف در بوتـه مشـاهده شـد کـه در مقایسه با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد با کاهش ۲۱/۴۲ درصـدی مواجـه بود (جدول ۵). کاربرد محلول‌پاشی نیز با افزایش تعد غـلاف در بوتـه همراه بود. محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپـی‌براسـینولید بـه نسبت شاهد باعث افزایش ۱/۰۵ برابـری تعـداد غـلاف در بوتـه شـد (جدول ۵).

تعداد غلاف‌ها مهم‌ترین جزء تعیین‌کننـده عملکـرد دانـه در لوبیـا می‌باشد که به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطـی بـه‌ویژه دمـا و تـنش خشـکی قـرار می‌گیـرد (Morosan, 2017). در شـرایط محـدودیت آبیاری، با توجه به رشد نامحدود لوبیا، کاهش مدت زمان دوره رشـد و همچنین کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه، از عوامل اصلی کاهش تعداد غلاف‌ها در بوتـه نسـبت بـه شـرایط آبیـاری کامـل محسـوب می‌شود. کاهش تعداد غلاف‌ها در اثر کم‌آبی در لوبیا توسـط مطالعـات دیگر نیز گزارش شده است (Mohajerani et al., 2016; Ghaedi et al., 2021). کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید با افزایش تحمـل گیـاه بـه تـنش خشـکی سـبب بهبـود تعـادل هورمـونی، افـزایش فعالیـت آنتی‌اکسیدانی و حفظ کارآیی فتوسنتز می‌شود. این عوامل بـه انتقـال مؤثر مواد فتوسنتزی و کاهش ریزش گل‌ها و غلاف‌ها کمک می‌کنند. در نتیجه، گل‌های بارور بیشتری روی ساقه اصلی حفظ شده و تعـداد غلاف در بوته افزایش می‌یابد. این اثر هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط کم‌آبی مشـاهده شـده اسـت (Zhang et al., 2008; Upreti & Murti, 2004; Anjum et al., 2011).

تعداد دانه در غلاف و دانه در بوته

بر مبنای مقایسه میانگین سطوح آبیـاری، تعـداد دانـه در غـلاف متناسب با افزایش شدت تنش کم‌آبیاری کاهش یافت، به‌گونه‌ای کـه تیمار آبیاری ۶۰ درصد عامـل افـت ۲۷/۵۶ درصـدی ایـن صـفت بـه نسبت آبیاری ۱۰۰ درصد شد. از سوی دیگر، بیشترین تعـداد دانـه در بوته (۱۰۶/۶۹ عدد) در تیمار آبیاری کامل به دست آمد که در مقایسه با تیمار تنش شدید (۶۷/۴۴ عدد) اختلاف ۳۶/۷۸ درصدی را بروز داد (جدول ۵). مقایسه میـانگین سـطوح مختلـف محلول‌پاشـی ۲۴-اپـی‌براسینولید نمایانگر تأثیر مثبت و معنـی‌دار ایـن هورمـون در افـزایش تعداد دانه در غلاف و دانه در بوته بود. بیشترین تعداد دانـه در غـلاف (۴/۹۶ عدد) و دانه در بوته (۱۲۴/۳۷ عدد) در تیمار محلول‌پاشـی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید و کمترین آن‌ها (بـه‌ترتیب ۳/۰۷ و ۳۷/۶۲ عدد) در شاهد (عدم محلول‌پاشی) به دست آمد. از این جهـت، اعمال محلول‌پاشی در بالاترین سطح کاربردی در ایـن آزمـایش، بـه ترتیب سبب افزایش ۶۱/۵۶ و ۲۳۰ درصدی تعـداد دانـه در غـلاف و دانه در بوته شده است (جدول ۵).

مطالعات نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی موجب افزایش ریزش گل‌ها و سـقط دانـه‌های تـازه تشکیل‌شـده می‌گـردد، همچنین منجر به کاهش مدت زمان مرحله تشکیل اندام‌های زایشـی شده و در نهایت کاهش تعداد دانه در غلاف را به همراه دارد. با توجه به اینکه گیاهان دارای سـازوکارهای تنظـیم انـدازه مخـزن براسـاس میزان آسیمیلات‌های ذخیره‌شده هستند، در شرایط تـنش کم‌آبیـاری، گیاه با افزایش ریـزش گل‌هـا و غلاف‌هـا، انـدازه مخـزن را کـاهش می‌دهد که این فرآیند منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته و به‌دنبال آن کاهش تعداد دانه در هر غلاف می‌شود (Shekari et al., 2010). کاربرد اپی‌براسینولید احتمالاً از طریـق بهبـود وضـعیت فیزیولـوژیکی گیاه، به‌ویژه در دوره‌های بحرانی رشد زایشی موجـب حفـظ گل‌هـا و جنین‌های تازه‌تشکیل‌شده گشته است. این اثر به کاهش ریزش گـل، افزایش بقاء و رشـد دانـه‌ها در غـلاف انجامیـده و در نهایـت باعـث افزایش تعداد دانه در غلاف (و به‌طور کلی تعداد دانه در بوته)، چـه در شرایط تنش کم‌آبیاری و چه در شرایط آبیاری مطلوب گردیده است.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد، عملکرد دانه عملکرد زیستی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب تحت تأثیر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ٢٤-اپی‌براسینولید در لوبیا چیتی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of yield components, grain yield, biological yield, harvest index and water use efficiency under the effect of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide in pinto bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	غلاف در بوته Pod per plant	دانه در غلاف Seed per pod	دانه در بوته Seed per plant	وزن صد دانه 100-seed wheaigth	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارآیی مصرف آب Water use efficiency
تکرار Replication (R)	2	12.33**	0.45ns	130.92ns	0.09ns	9433ns	2352ns	1.99ns	0.0008ns
تنش کم‌آبی Low irrigation stress (L)	2	41.26**	5.98**	4802.99**	72.52**	2451858**	6357886**	33.34**	0.069**
خطای اصلی Main plot error	4	0.29	0.11	14.81	3.85	6766	10677	3.12	0.0005
۲۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide (B)	3	328.19**	6.96**	14712.93**	126.81**	2415429**	7768165**	55.28**	0.207**
L × B	6	1.31ns	0.16ns	91.90ns	1.26ns	236165**	552171**	7.66**	0.008**
خطای فرعی Subplot error	18	1.02	0.17	111.37	1.88	21370	64869	1.69	0.001
ضریب تغییرات C.V. (%)		5.26	9.89	12.43	3.82	5.87	5.07	2.64	6.40

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and **: Non significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید بر اجزای عملکرد و تعداد دانه در بوته در لوبیا چیتی

Table 5- Means comparison of the effect of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide on yield components and number of seed per plant in pinto bean

تیمار Treatment	سطوح تیمار Treatment levels	غلاف در بوته Pod per plant (number)	دانه در غلاف Seed per pod (number)	دانه در بوته Seed per plant (number)	وزن صد دانه 100-seed wheaigth (g)
تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	20.97	4.97	106.69	38.52
	۸۰ درصد نیاز آبی 80% water requirement	19.41	3.97	80.33	35.67
	۶۰ درصد نیاز آبی 60% water requirement	17.27	3.60	67.44	33.63
LSD (0.05)		0.61	0.37	4.36	2.22
۲۴-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide (mg.L^{-1})	0	12.29	3.07	37.62	31.64
	0.05	16.14	3.88	65.37	34.18
	0.1	23.22	4.81	111.92	37.91
	0.2	25.22	4.96	124.37	40.04
LSD (0.05)		1.00	0.40	10.45	1.35

مطابق با این آزمایش، محققان دیگر در لوبیا (Mohammadi et al., 2018) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Zafari et al., 2020) نیز به تأثیر مثبت اپی‌براسینولیدها بر تعداد دانه در غلاف (یا طبق) نیز اشاره نموده‌اند.

وزن صد دانه

با کاهش آبیاری، وزن صد دانه نیز کاهش یافت، به‌طوری که در تیمار آبیاری ۶۰ درصد نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد، کاهش ۱۲/۶۹ درصدی وزن صد دانه مشاهده شد (جدول ۵). اعمال تیمار محلول‌پاشی هورمون نیز سبب افزایش وزن صد دانه گردید. بیشترین وزن صد دانه (۴۰/۰۴ گرم) از محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید حاصل شد که باعث افزایش ۲۶/۵۴ درصدی این صفت نسبت به شاهد (آب مقطر) شد (جدول ۵).

در دوره‌های رویشی و زایشی، کمبود آب با افزایش رقابت بین گیاهان برای دسترسی به آب و مواد مغذی، کاهش وزن دانه را به دنبال دارد. علاوه‌بر این، کوتاه شدن طول مدت رشد در این مراحل باعث کاهش زمان مؤثر پر شدن دانه می‌شود که منجر به کاهش تولید و انتقال محصولات فتوسنتزی به دانه و در نهایت کاهش وزن دانه در مرحله توسعه دانه می‌گردد (Eraji et al., 2023). همراستا با نتایج حاضر گزارش شده است که تنش خشکی بر وزن دانه ارقام مختلف لوبیا مؤثر بود (Davoodi et al., 2017). از سوی دیگر، براسینولید می‌تواند با بهبود فرآیند تلقیح و افزایش کارآیی انتقال مواد فتوسنتزی به ساختارهای زایشی، به‌ویژه اندام‌های مولد بذر موجب ارتقاء وزن دانه در غلاف شود (Ghasemi et al., 2021). گروه دیگری از پژوهشگران نیز تأثیرگذاری این هورمون بر افزایش ماده خشک دانه را به فعالیت بیشتر نیتروژناز نسبت می‌دهند (Ali et al., 2007). در نتیجه، براسینولید از طریق بهینه‌سازی تخصیص منابع و حفظ ساختارهای زایشی فعال، نقش مهمی در بهبود اجزای عملکری نظیر وزن دانه ایفا می‌کند.

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش دوگانه حاکی از آن است که در هر یک از سطوح تیمار کم‌آبیاری، بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید بود که به‌ترتیب موجب افزایش ۷۲/۴۰، ۵۶/۰۳ و ۴۴/۳۴ درصدی عملکرد دانه تحت سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی درمقایسه با شاهد همان سطح شد (جدول ۶).

تنش خشکی با کاهش سطح برگ، از طریق محدودیت در توزیع مواد فتوسنتزی (اندازه منبع) منجر به افت توان تولیدی گیاه و اختلال در فرآیند رشد نظیر کاهش اجزای عملکرد شد. این شرایط تنشی با

کاهش سنتز و انتقال ترکیبات فتوسنتزی، همچنین اختلال در تلقیح گل‌ها موجب کاهش تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف و وزن صد دانه (اندازه مخزن) گردید. در نتیجه، مجموع این اثرات منفی، کاهش معنی‌دار عملکرد نهایی دانه را در پی داشت. یافته‌های پژوهش‌های دیگران نیز تأیید می‌کنند که تنش خشکی تأثیر منفی قابل توجهی بر عملکرد دانه لوبیا دارد (Keshtegar Khajedad et al., 2023; Mohammadi et al., 2021). براساس گزارش‌ها، افزایش عملکرد دانه در پی کاربرد اپی‌براسینولید ممکن است به‌دلیل تحریک تولید سایتوکینین و فعالیت نیتروژناز در ریشه‌ها (Upreti & Murti, 2004) و یا تأکید بیشتر بر بهبود راندمان فتوشیمیایی فتوسنتز و افزایش کارآیی جذب دی‌اکسید کربن باشد (Talaat, 2020) که به تجمع بیشتر رنگدانه‌های فتوسنتزی، به‌ویژه کلروفیل نسبت داده می‌شود. تأثیر محلول‌پاشی براسینولید بر افزایش عملکرد دانه در مطالعات مختلف گونه‌های زراعی از جمله لوبیا چیتی (Hajiri & Pazoki, 2023) و لوبیا چشم‌بلبلی (Mohammadi et al., 2020) نیز گزارش شده است.

عملکرد زیستی

میزان عملکرد زیستی لوبیا چیتی متناسب با افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری کاهش یافت، امّا کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید این روند نزولی را بهبود بخشید. در سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد، بیشترین میزان عملکرد زیستی از تیمار کاربرد ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید حاصل شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۶۶/۹۹، ۴۴/۷۶ و ۳۹/۷۸ درصدی را نشان داد (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ٢٤-اپی‌براسینولید بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و کارآیی مصرف آب در لوبیا چیتی

Table 6- Means comparison of interaction effects of low irrigation stress and foliar application of 24-epibrassinolide on grain yield, biological yield, harvest index and water use efficiency in pinto beans

تنش کم‌آبیاری Low irrigation stress	محلول‌پاشی ٢٤-اپی‌براسینولید 24-epibrassinolide foliar application (mg.L^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg.m^{-3})
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	0	2196	4533	48.42	0.41
	0.05	2446	4990	49.02	0.47
	0.1	3526	6186	50.04	0.73
	0.2	3786	7570	57.04	0.79
۸۰ درصد نیاز آبی 80% water requirement	0	1963	4200	46.74	0.47
	0.05	2076	4423	47	0.50
	0.1	2386	4636	50.37	0.60
	0.2	3063	6080	51.44	0.80
۶۰ درصد نیاز آبی 60% water requirement	0	1743	3760	46.35	0.58
	0.05	2026	4263	47.55	0.69
	0.1	2146	4316	47.86	0.74
	0.2	2516	5256	49.73	0.89
LSD (0.05)		250.7	436.9	2.22	0.66

در شرایط آبیاری کافی، به‌واسطه دسترسی مناسب به رطوبت و فراهم بودن شرایط مطلوب برای رشد، وزن خشک کل گیاه به‌طور معنی‌داری بالاتر از شرایط تنش کم‌آبیاری بود. در مقابل، اعمال کم‌آبی با کاهش پتانسیل آماس یاخته‌ای، کاهش سطح برگ و وزن خشک آن، و همچنین کاهش نرخ فتوسنتز به‌واسطه تسریع پیری و ریزش برگ‌ها منجر به افت قابل توجه در وزن خشک کل گیاه گردید. به گزارش صفی خانی و همکاران (Safikhani et al., 2007) یکی از نخستین واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان به تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد برگ‌ها است که در ادامه موجب کاهش تولید مواد فتوسنتزی شده و در نهایت کاهش زیست‌توده کل را به دنبال خواهد داشت. افزایش تولید ماده خشک در تیمارهای مختلف ۲۴-اپی‌براسینولید می‌تواند ناشی از گسترش بیشتر سطح برگ باشد. این گسترش سطح برگ احتمالاً منبع فتوسنتزی مؤثرتری را برای بهره‌برداری بهتر از نور فراهم ساخته و به‌دنبال آن،

تولید ماده خشک افزایش یافته است. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که کاربرد براسینولید در گیاه سویا با بهبود پتانسیل آب برگ، افزایش محتوای کلروفیل و ارتقاء نرخ فتوسنتز موجب توسعه سطح برگ، افزایش اجزای مرتبط با عملکرد، تجمع ماده خشک و در نهایت بهبود عملکرد زیست‌توده شده است (Zhang et al., 2008). دهقان و همکاران (Dehghan et al., 2017) نیز در پژوهش خود گزارش کردند که محلول‌پاشی براسینولید سبب افزایش معنی‌دار در عملکرد زیستی گندم (*Triticum aestivum* L.) گردید.

شاخص برداشت

مقایسه میانگین برهم‌کنش دوگانه تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد که با افزایش شدت تنش در لوبیا چیتی، از میزان شاخص برداشت کاسته شد و در هر سه سطوح تنش کم‌آبیاری، بیشترین میزان شاخص برداشت به‌ترتیب با میانگین‌های ۵۷/۰۴، ۵۱/۴۴ و ۴۹/۷۳ درصد از تیمار کاربرد ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید به دست آمد. کم‌ترین مقدار نیز به‌ترتیب با میانگین‌های ۴۸/۴۲، ۴۶/۷۴ و ۴۶/۳۵ درصد در شاهد (عدم محلول‌پاشی) مشاهده شد، ازاین‌رو کاربرد این سطح از هورمون با افزایش ۱۷/۸۰، ۱۰/۰۵ و ۷/۲۹ شاخص برداشت برای هر یک از سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی همراه شد (جدول ۶).

کاهش شاخص برداشت در شرایط کم‌آبی عمدتاً به‌دلیل افت نسبی بیشتر عملکرد دانه در مقایسه با کاهش عملکرد زیستی کل است. غفاری و همکاران (Ghafari et al., 2021) در پژوهش روی لوبیا نشان دادند که بین رژیم‌های مختلف آبیاری از نظر شاخص برداشت که نمایانگر میزان تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها است، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. آن‌ها تأکید نمودند که تنش خشکی در مرحله زایشی، از طریق تأثیر منفی بیشتری که بر تولید غلاف در بوته دارد، در ادامه عامل کاهش عملکرد و در نتیجه افت شاخص برداشت خواهد بود. شواهد این مطالعه نشان می‌دهد که هورمون ۲۴-اپی‌براسینولید با جلوگیری از سقط اندام‌های زایشی و افزایش دوام آن‌ها موجب حفظ عملکرد دانه در شرایطی می‌شود که زیست‌توده کلی کاهش می‌یابد، بنابراین با کندتر شدن افت عملکرد اقتصادی نسبت به عملکرد زیستی، شاخص برداشت تحت تیمارهای کم‌آبیاری به‌طور مؤثری بهبود می‌یابد. پژوهشگران بیان داشته‌اند که کاربرد ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر براسینولید، افزایش ۱۹/۰۳ درصدی شاخص برداشت آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را به همراه داشته است (Ghasemi et al., 2021).

کارآیی مصرف آب

مطابق با جدول ۶، نتایج برهم‌کنش دوگانه نشان داد که در هر یک از سطوح تیمار کم‌آبیاری، محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپی‌براسینولید بیشترین میزان کارآیی مصرف آب را در پی داشت که به‌ترتیب عامل افزایش ۹۲/۶۸، ۷۰/۲۱ و ۵۳/۴۴ درصدی کارآیی مصرف آب تحت سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با شاهد شد. در این آزمایش، آبیاری کمتر موجب افزایش کارآیی مصرف آب گردید.

در شرایط کم‌آبی، گیاه قادر است با بستن نسبی روزنه‌ها از خروج بیش از حد آب جلوگیری کند که این فرآیند بر تعادل ورود دی‌اکسیدکربن و تجمع ماده خشک تأثیرگذار است. در این وضعیت، کاهش خروج آب نسبت به ورودی آن ممکن است بیشتر باشد و در نتیجه کارآیی مصرف آب (نسبت ورودی به خروجی آب) افزایش یابد. در همین راستا، صابرعلی و همکاران (Saberali et al., 2020) نیز گزارش کردند که تخلیه آبی ۶۰ درصد در ناحیه ریشه، کارآیی مصرف آب لوبیا را نسبت به سطوح دیگر (۵۰ و ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی) به طور معناداری افزایش داد. اپی‌براسینولید نیز با بهبود فتوسنتز و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها باعث افزایش کارآیی مصرف آب در گیاه می‌شود. این هورمون با کاهش تعرق غیرضروری و بهینه‌سازی جذب و استفاده از آب، توانایی گیاه در حفظ رشد و عملکرد را تحت تنش کم‌آبیاری افزایش می‌دهد و مصرف آب را به شکل مؤثرتری مدیریت می‌کند. نتیج محققان نشان‌دهنده آن است که این تنظیم‌کننده رشد با برتری نسبت به اسید جیبرلیک و استیل سالیسیلیک اسید، افزایش معنی‌دار کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) را تحت وضعیت تنش خشکی سبب شده است (Pourasadollahi et al., 2020).

نتیجه‌گیری

براساس داده‌های به‌دست‌آمده، نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار تنش کم‌آبیاری (در سطوح ملایم و شدید) سبب کاهش معنی‌دار در تمام صفات رشدی و عملکردی نظیر ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در مقایسه با شرایط آبیاری کامل گردید (به‌استثناء کارآیی مصرف آب که متناسب با شدت تنش افزایش

یافت). در مقابل، کاربرد محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید تحت شـرایط بدون تنش باعث بهبود رشد رویشی و افزایش اجزای عملکـرد شـد و در شرایط تنش خشکی نیز توانست بخشی از آثار منفـی کم‌آبیـاری را کاهش دهد و موجب حفظ نسبی ساختار گیاه و ارتقاء عملکـرد گـردد. به‌طور کلی، محلول‌پاشی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر ۲۴-اپـی‌براسـینولید را می‌توان به‌عنوان ابزاری مؤثر برای بهبود رشـد و عملکـرد گیـاه لوبیـا چیتی در شرایط آبیاری بهینه و نیز به‌منظور افزایش تحمـل گیـاه بـه تنش خشکی توصیه نمود. البته بررسی‌های بیشتر در شرایط محیطـی متنوع، برای درک بهتـر سـازوکارهای مـؤثر ایـن تنظیم‌کننـده رشـد ضروری است.

References

1. Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2007). Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 217–223. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.002
2. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., & Zou, C.M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *197*(3), 177–185. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x
3. Ansari, W.A., Atri, N., Pandey, M., Singh, A.K., Singh, B., & Pandey, S. (2019). Influence of drought stress on morphological, physiological and biochemical attributes of plants: A review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *16*(4), 697–709. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2785
4. Bera, A.K., Pramanik, K., & Mandal, B. (2014). Response of biofertilizers and homobrassinolide on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Agricultural Research*, *9*(48), 3494–3503. https://doi.org/10.5897/AJAR2013.8457
5. Castañeda-Murillo, C.C., Rojas-Ortiz, J.G., Sánchez-Reinoso, A.D., Chávez-Arias, C.C., & Restrepo-Díaz, H. (2022). Foliar brassinosteroid analogue (DI-31) sprays increase drought tolerance by improving plant growth and photosynthetic efficiency in lulo plants. *Heliyon*, *8*(2). e08977. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08977
6. Davoodi, S.H., Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghadam, A., & Gholamalipour Alamdari, E. (2018). The effect of deficit irrigation on yield and physiological traits of bean cultivars. *Plant Production Technology*, *10*(1), 83–95. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22084/ppt.2018.9633.1537
7. Davoodi, S., Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghadam, A., & Gholamalipour Alamdari, E. (2017). Evaluation of response of yield, yield components and harvest index of bean (*Phaseolus vulgaris*) to terminal drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, *1*(2), 155–165. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/csrar.01.02.03
8. Davoudi, A., Sadeghipour, O., & Tohidi Moghadam, H.R. (2018). Cowpea response to ascorbic acid application under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research*, *10*(3), 251–264. (In Persian with English abstract).
9. Dehghan, M., Balouchi, H.R., Yadavi, A.R., & Safikhani, F. (2017). Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, *19*(1), 40–56. (In Persian with English abstract).
10. Eraji, R., Rezadoost, S., Jalili, F., Rushdi, M., & Khalili Mahalla, J. (2023). Effect of irrigation cut off and antitranspirants on yield and some physiological characteristics of pinto beans. *Journal of Crop Production*, *16*(2), 149–168. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.20745.2545
11. Ghaedi, R., Razmjoo, J., & Gholami Zali, A. (2021). Effect of irrigation regimes on yield, yield components and seed quality of different pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, *11*(2), 1–18. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.11.2.23942
12. Ghafari, S., Tavakoli, A., Yousefi, A.R., Nikbakht, J., & Salek Mearaji, H. (2021). Effect of different irrigation regimes on gas exchanges and agronomy traits related to yield in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 63–74. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2596.1679
13. Ghalandari, S., Kafi, M., Goldani, M., & Bagheri, A. (2019). The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(1), 114–125. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.64836

14. Ghasemi, M., Jahanbin, S., Latifmanesh, H., Farajee, H., & Mirshekari, A. (2021). Effect of brassinolide foliar application on some physiological and agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Crop Production*, *14*(1), 31–48. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18084.2339
15. Ghassemi, A., Farzaneh, S., Moharramnejad, S., Seyed Sharifi, R., & Fathy Youesf, A. (2025). Effect of 24-epibrassinolide, spermine, and silicon on growth traits and grain yield in maize under water deficit stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *34*(4), 189–199. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2023.56134.3022
16. Gholami, F., Amerian, M.R., Asghari, H.R., & Ebrahimi, A. (2025). Evaluating the impact of yeast extract and 24-epi-brassinolid treatments on physiological characteristics and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) subjected to irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *56*(1), 1–22. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.369864.655052
17. Hajiri, K., & Pazoki, A. (2023). Investigating the role of brassinolide in tolerance to lead toxicity on growth and physiological traits of pinto beans. *Journal of Crop Production*, *16*(3), 17–32. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2024.20577.2532
18. Hasani, M., Tadayon, M.R., & Olia, M. (2022). The effect of organic and biological fertilizers on the growth and yield of two bean species (*Phaseolus calcaratus* L. and *Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) under drought stress. *Journal of Arid Biome*, *12*(2), 95–110. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/aridbiom.2023.20344.1943
19. Hussain, M.A., Fahad, S., Sharif, R., Jan, M.F., Mujtaba, M., Ali, Q., Ahmad, A., Ahmad, H., Amin, N., Ajayo, B.S., Jiang, Z., Gu, L., Sun, C., Ahmad, I., & Hou, J. (2020). Multifunctional role of brassinosteroid and its analogues in plants. *Plant Growth Regulation*, *92*, 141–156. https://doi.org/10.1007/s10725-020-00647-8
20. Kaushal, M., & Wani, S.P. (2016). Plant-growth-promoting rhizobacteria: Drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, *66*, 35–42. https://doi.org/10.1007/s13213-015-1112-3
21. Keshtegar Khajedad, M., Sirousmehr, A., Khammari, I., & Dahmardeh, K. (2023). The effect of humic acid foliar application on morphophysiological characteristics and yield of black bean plant under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, *25*(1), 127–142. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2022.322275.2538
22. Khan, I., Awan, S.A., Ikram, R., Rizwan, M., Akhtar, N., Yasmin, H., Sayyed, R.Z., Ali, S., & Ilyas, N. (2021). Effects of 24-epibrassinolide on plant growth, antioxidants defense system, and endogenous hormones in two wheat varieties under drought stress. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 696–706. https://doi.org/10.1111/ppl.13237
23. Lima, G.G., dos Santos, G.G.A., da Silva, K.P., da Silva Ribeiro, C., Alves, A.C.B., de Oliveira Neto, C.F., Leão, F.M., dos Santos Junior, J.B., & Hernández-Ruz, E.J. (2025). Application of 24-epibrassinolide promotes the development and growth of *Genipa americana* L. seedlings under varying shading levels. *Discover Applied Sciences*, *7*(5), 383. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06961-y
24. Mohajerani, S.H.S., Alavi Fazel, M., Madani, H., Lak, S., & Madhaj, A. (2016). Yield and physiological response of red bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to cutting irrigation off at different growth stages. *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(1), 213–224. (In Persian with English abstract).
25. Mohammadi, M., Pouryousef, M., Tavakoli, A., & Mohseni Fard, E. (2020). Study the effect of epibrassinolide application on the activity of some antioxidant enzymes, nitrate reductase, and photosynthetic pigments of common bean under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *11*(2), 76–94. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.76131
26. Mohammadi, M., Pouryousef, M., & Tavakoli, A. (2021). The effect of epibrassinolide application on photosynthetic material allocation, drought tolerance, and seed yield of two pinto bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *19*(2), 169–184. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.68288.1010
27. Mohammadi, M., Tavakoli, A., Pouryousef, M., & Mohsenifard, E. (2018). The effect of epibrassinolide on growth and seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *20*(3), 595–608. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.249057.1913
28. Morosan, M., Al Hassan, M., Naranjo, M.A., López-Gresa, M.P., Boscaiu, M., & Vicente, O. (2017). Comparative analysis of drought responses in *Phaseolus vulgaris* (common bean) and *P. coccineus* (runner bean) cultivars. *The*

EuroBiotech Journal, *1*(3), 247–252. https://doi.org/https://doi.org/10.24190/ISSN2564-615X/2017/03.09
29. Narimanzadeh, A., Sheikhzadeh, P., Zare, N., Sedghi, M., & Rostamihir, M. (2024). Effect of foliar application of nanosilicon on grain yield and some physiological traits of pinto bean under water limitation conditions. *Journal of Crop Production*, *17*(2), 53–70. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2024.21671.2600
30. Nolan, T.M., Vukašinović, N., Liu, D., Russinova, E., & Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: Multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *The Plant Cell*, *32*(2), 295–318. https://doi.org/10.1105/tpc.19.00335
31. Omidian, M., Roein, Z., & Shiri, M.A. (2022). Effect of foliar application of 24-epibrassinolide on water use efficiency and morpho-physiological characteristics of *Lilium* LA hybrid under deficit irrigation. *Journal of Plant Growth Regulation*, *41*(4), 1547–1560. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10400-8
32. Pereira-Netto, A.B., Cruz-Silva, C.T.A., Schaefer, S., Ramírez, J.A., & Galagovsky, L.R. (2006). Brassinosteroid-stimulated branch elongation in the marubakaido apple rootstock. *Trees*, *20*, 286–291. https://doi.org/10.1007/s00468-005-0041-3
33. Pérez-Montaño, F., Alías-Villegas, C., Bellogín, R., Del Cerro, P., Espuny, M., Jiménez-Guerrero, I., López-Baena, F.J., Ollero, F., & Cubo, T. (2014). Plant growth promotion in cereal and leguminous agriculturally important plants: From microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*, *169*(5–6), 325–336. https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011
34. Pourasadollahi, A., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., & Sohrabi, Y. (2020). Effect of spraying of growth regulators on water use efficiency, some osmolites and physiological traits of potato in drought stress conditions. *Plant Process and Function*, *9*(35), 329–345.
35. Rady, M.M., & Mohamed, G.F. (2015). Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract. *Scientia Horticulturae*, *193*, 105–113. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.003
36. Rahimi, H., Eshghizadeh, H.R., Razmjoo, J., Zahedi, M., Ghadiri, A., & Asadi, M. (2023). Evaluation of yield and some morpho-physiological characteristics of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Pulses Research*, *14*(1), 19–33. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v14i1.2206-1026
37. Saberali, S.F., Yosefi-fard, M., & Sadat Asilan, K. (2020). Effect of different level of irrigation regimes and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency in kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, *11*(2), 137–149. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.79226
38. Sadeghipour, A., & Banekdar Hashemi, N. (2015). Study the effect of brassinolide application on drought tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Crop Physiology Journal*, *7*(26), 57–70. (In Persian with English abstract).
39. Safikhani, F., Sharifabadi Syadat, A., Ashorabadi, A., Syednedjad, M., & Abbaszadeh, B. (2007). The effect of drought on yield and morphological characteristics of *Deracocephalum moldvica* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, *23*(2), 183–194. (In Persian with English abstract).
40. Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Vazayefi, M., & Goreishi Nasab, M.J. (2010). Effect of salicylic acid seed priming on some physiological traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at podding stage. *Journal of Crop Ecophysiology*, *13*(1), 13–30. (In Persian with English abstract).
41. Talaat, N.B. (2020). 24–Epibrassinolide and spermine combined treatment sustains maize (*Zea mays* L.) drought tolerance by improving photosynthetic efficiency and altering phytohormones profile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*, 516–529. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00138-4
42. Timmons, D.R., Holt, R.F., & Thompson, R.L. (1967). Effect of plant population and row spacing on evapotranspiration and water-use efficiency by soybeans. *Agronomy Journal*, *59*(3), 262–265. https://doi.org/10.2134/agronj1967.00021962005900030018x
43. Upreti, K.K., & Murti, G.S.R. (2004). Effects of brassinosteroids on growth, nodulation, phytohormone content and nitrogenase activity in French bean under water stress. *Biologia Plantarum*, *48*(3), 407–411. https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000041094.13342.1b
44. Wondimu, W.G., & Tana, T. (2017). Yield response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to combined application of nitrogen and phosphorus fertilizers at Mechara, Eastern Ethiopia. *Journal of Plant Biology and Soil Health*, *4*(2), 1–7. https://doi.org/10.13188/2331-8996.1000018

45. Yeganehpoor, F., Zehtab-Salmasi, S., Shafagh-Kelvanagh, J., & Ghassemi Golezani, K. (2015). Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Crop Production*, *9*(4), 37–55. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8717.1672
46. Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Sedghi, M. (2020). Safflower (*Carthamus tinctorius*) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24-epibrassinosteroid and genotype under drought stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68*(22), 6040–6047. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06860
47. Zahedipour-Sheshglani, P., & Asghari, M. (2020). Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. *Scientia Horticulturae*, *268*, 109376. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109376
48. Zhang, M., Zhai, Z., Tian, X., Duan, L., & Li, Z. (2008). Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). *Plant Growth Regulation*, *56*, 257–264. https://doi.org/10.1007/s10725-008-9305-4
49. Zhao, X., Shi, J., Niu, Y., Lu, P., Chen, X., & Mao, T. (2022). 24-epibrassinolide alleviates aluminum toxicity by improving leaf chlorophyll fluorescence and photosynthetic performance and root antioxidant-oxidant balance and ascorbate-glutathione cycle in maize. *Russian Journal of Plant Physiology*, *69*(5), 99. https://doi.org/10.1134/s1021443722050247